

# Hybrid Steinschlagbarriere (Attenuator)

## Herleitung der Kinetik und Ausarbeitung des Bemessungskonzeptes

### Diplomand



Remo Dudler

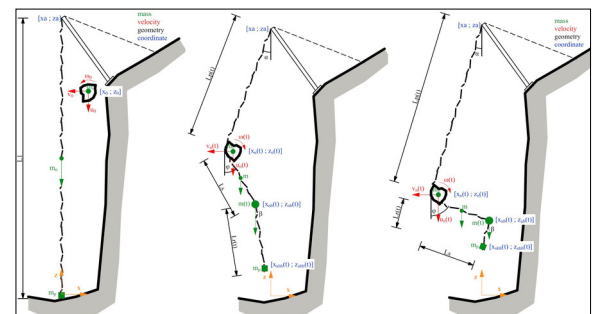
**Ausgangslage:** Attenuator sind Steinschlagschutzsysteme und stellen eine Kombination aus Steinschlagbarriere und Vorhang dar. Der Vorteil dieser Systeme liegt im geringen Wartungsaufwand bei gleichzeitig hoher Steinschlagfrequenz. Durch das nicht vorhandene Trageseil am Netzende ist die Kapazität kinetische Energie zu dissipieren beschränkt, worin auch der Hauptunterschied im Vergleich zu einer herkömmlichen Steinschlagbarriere liegt, welche die gesamte kinetische Energie absorbiert. Verschiedene Institutionen aus der Forschung und der Privatwirtschaft aus Nordamerika, der Schweiz und Japan führten verschiedene 1:1 Tests sowie Modellversuche durch. Das Ziel dieser Versuche war es, die Interaktion zwischen dem Stein und dem Netz besser zu verstehen. Bis heute war es nicht möglich aus den Erkenntnissen der letzten 15 Jahre ein Bemessungsmodell für Attenuator-Systeme zu erstellen. Diese Arbeit beschäftigt sich damit, einen neuen Bemessungsansatz, welcher auf kinetischen Gesetzen basiert, zu entwickeln.

**Vorgehen / Technologien:** Die Interaktion vom Stein und dem Netz wurde in einem iterativen Prozess mit Bewegungsgleichungen (Differentialgleichungen) zu einem kinetischen Modell formuliert und im Computeralgebrasystem Maple ausgewertet, simuliert und animiert. In den Jahren 2015 - 2017 wurden Feldversuche in Canada durch die Firmen Geobruigg AG und Wyllie & Norrish Rock Engineers durchgeführt. Mit Hilfe dieser Versuche wurde das kinetische Modell plausibilisiert. Weiter konnten die Versuchsdaten benutzt werden, um die Reibung zwischen dem Stein und den verschiedenen Netz- und Geflechttypen sowie um das Phänomen Einhängen zu kalibrieren. Damit die Tragsicherheit unter verschiedenen Einwirkungen/Steinformen, bei gleichzeitigem Begrenzen der Auslenkung und/oder Vorhandensein von Schnee garantiert werden kann, wurden drei Lastfälle entwickelt. Mit den Resultaten aus dem kinetischen Modell und den Lastfällen wurden Nachweise formuliert, mit denen das Geflecht/Netz auf ihren Erfüllungsgrad geprüft und Notfalls verstärkt oder anderweitig optimiert werden kann.

**Ergebnis:** Der Übereinstimmungsgrad vom kinetischen Modell mit den Versuchen aus Canada schwankt zwischen 15 % und maximal 30 %. Die Ungenauigkeiten stammen von Vereinfachungen im System sowie von Messungenauigkeiten im Zuge der Datenauswertung der 1:1 Versuche. Das Modell zeigt allgemein eine nachvollziehbare Anpassungsfähigkeit gegenüber geänderten Eingangsparametern und Rahmenbedingungen. Die Bemessung des Attenuators aus Canada zeigt einen hohen Erfüllungsgrad zum effektiv ausgeführten Bauwerk. Mit dem kinetischen Modell konnten zum ersten Mal die angreifenden Kräfte am

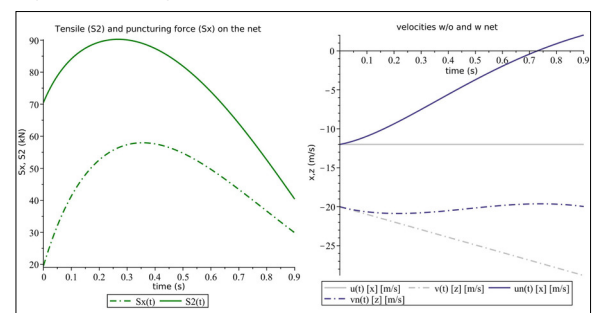
Netz sowie die Trajektorie und die davon abgeleiteten Funktionen basierend auf einem physikalischen Modell simuliert respektive berechnet werden. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Attenuator zuverlässiger und präziser, ausgehend von der zu erwartenden Einwirkung, bemessen. Es ist möglich, das Modell durch weitere Tests zu verfeinern und genauer zu kalibrieren. Die für das Modell entwickelten Nachweise decken auch aussergewöhnliche Lastfälle ab.

### Seitenansicht des Attenuators mit Bezeichnungen des kinetischen Modells vor und während Einschlag. Eigene Darstellung



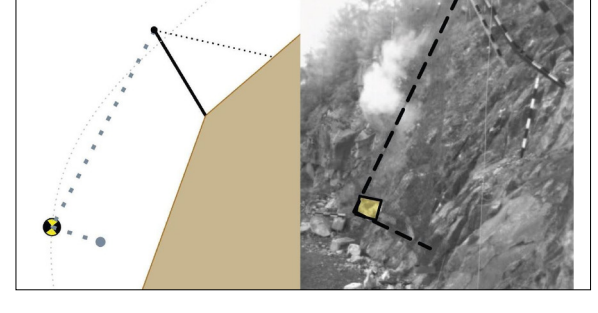
### Ausgabeparameter des kinetischen Modells, Zug- und Durchstanzkraft am Netz und Geschwindigkeiten in x- und z

Eigene Darstellung



### Vergleich Hochgeschwindigkeitsaufnahme (rechts) mit der Animation (Trajektorie) des kinetischen Modells (links)

Eigene Darstellung



### Referenten

Prof. Dr. Benno Bucher,  
Prof. Dr. Ivan Marković

### Korreferent

Andreas Lanter,  
Geobruigg AG,  
Romanshorn, TG

### Themengebiet

Civil Engineering,  
Mechanical  
Engineering, Software  
and Systems

### Projektpartner

Geobruigg AG,  
Romanshorn, TG